

Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 2018

Sonderdruck  
Seiten 134–136



J. CRAMER Verlag • Braunschweig  
2019

## Phasenfeldmodellierung und -simulation von Bruch- und Ermüdungsphänomenen in komplexen Materialien\*

LAURA DE LORENZIS

Institut für Angewandte Mechanik, Technische Universität Braunschweig  
Pockelsstraße 3, DE-38106 Braunschweig, E-mail: l.delorenzis@tu-braunschweig.de

Die Vorhersage der Bruch- und Ermüdungsmechanismen von Materialien und Strukturen stellt nach wie vor eine wesentliche Herausforderung in der numerischen Mechanik dar. Als Alternative zu den bestehenden Methoden, welche die diskreten Risse explizit oder verschmiert – durch eine Schädigungsvariable – beschreiben, ist in den letzten Jahren eine neue Methode (die sogenannte Phasenfeldmethode) eingeführt worden, die auf einem regularisierten variationellen Prinzip basiert und die Schädigung des Materials durch ein zusätzliches unbekanntes Feld, das Phasenfeld, beschreibt. Vorteil dieser Methode gegenüber den bestehenden Methoden ist die Möglichkeit, beliebig komplexe Rissgeometrien ohne besonderen Aufwand, auch in dreidimensionalen Strukturen, beschreiben zu können [1].

In diesem Vortrag werden zuerst die grundlegenden Konzepte des Phasenfeldansatzes für die Beschreibung von Bruchphänomenen erläutert. Dabei wird eine kurze Übersicht der laufenden Forschung zum Thema am Institut für Angewandte Mechanik (IAM) der TU Braunschweig vorgestellt. Im Folgenden wird auf drei Fragestellungen näher eingegangen.

Erste Frage: *ist es möglich, durch Phasenfeldmodelle eine quantitative Vorhersage des Bruchverhaltens spröder Materialien zu erzielen?* Die Frage wird im Vortrag positiv beantwortet. Zunächst werden die Materialparameter des Modells erläutert, welche durch Experimente bestimmt werden müssen. Die Kalibrierung dieser Materialparameter und die unabhängige Validierung des kalibrierten Modells wurden anhand komplexer experimenteller Daten durch eine Zusammenarbeit mit dem LMS - ENS Cachan in Paris durchgeführt. Die Details wurden bereits veröffentlicht [2] und werden im Vortrag zusammengefasst. Die Genauigkeit der „blinden“ Vorhersage des kalibrierten Modells ist erstaunlich hoch, was sowohl globale als auch lokale Größen betrifft.

---

\* Der Vortrag wurde am 13.04.2018 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

*Zweite Frage: kann der Phasenfeldansatz zur Bruchmechanik auf die Beschreibung und Vorhersage von Ermüdungsphänomenen erweitert werden?* Vor kurzem wurde am IAM ein phasenfeldbasiertes Ermüdungsmodell entwickelt, welches zuerst in einem eindimensionalen Kontext analysiert und danach auf zwei- und dreidimensionale Probleme erweitert wurde [3, 4]. Die wesentlichen Ideen in der Herleitung des Modells werden im Vortrag erörtert. Es wird auch gezeigt, dass der entwickelte Ansatz es erlaubt, bekannte Ergebnisse zu reproduzieren, welche das globale Verhalten mechanischer Probekörper unter zyklischer Belastung charakterisieren, u.a. die sogenannten Wöhler-Kurven und das Gesetz von Paris. Somit ist auch die zweite Frage positiv zu beantworten.

*Dritte Frage: ist der erweiterte Phasenfeldansatz geeignet, das Ermüdungsverhalten komplexer Materialien, wie Beton, zu erfassen?* Die Antwort auf diese Frage ist Gegenstand aktuell laufender Forschung am IAM im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 2020. In heterogenen Baustoffen, z.B. Beton, werden Bruchvorgänge wesentlich von der Verteilung der einzelnen Phasen beeinflusst, sowie von ihren Materialparametern, einschließlich den Eigenschaften der Grenzflächen zwischen den Phasen. In Bezug auf die Geometriebeschreibung ist es für Betons in der Literatur üblich, die Gesteinskörnung durch einfache Geometrien, wie Kugeln, zu beschreiben, wobei die Genauigkeit der Ergebnisse fraglich ist. Neuerdings wurden auch komplexere Formen, basierend auf spherical harmonics, verwendet. Eine realistische Beschreibung lässt sich aber am besten durch Computertomographie erzielen und wurde am IAM verfolgt. Insbesondere wurde die Mesostruktur von Beton vereinfacht durch Poren, Gesteinskörnung und Mörtel (-matrix) beschrieben, mittels Computertomographie die Verteilung dieser Phasen an einer konkreten Probe bestimmt und ein Geometriemodell für die Simulationen generiert. Probleme in der sogenannten Segmentierung (d.h. in der Unterscheidung der Phasen) infolge des nicht ausreichenden Kontrastes zwischen Mörtelmatrix und Gesteinskörnung wurden durch einen neuen Ansatz gelöst, siehe [5]. Ferner wurde ein Prüfmodul im Computertomograph installiert und es wurden Zugversuche während der Tomographie durchgeführt. Aktuell werden anhand voxelbasierter numerischer Modelle der experimentell untersuchten Proben Simulationen durchgeführt, um zukünftig eine Validierung des mesoskaligen Betonmodells unter statischer und zyklischer Beanspruchung zu ermöglichen. Die anstehenden Schritte der Forschung und die damit verbundenen Herausforderungen werden im Vortrag diskutiert.

## Referenzen

- [1] AMBATI, A., T. GERASIMOV & L. DE LORENZIS (2015): A review on phase-field models of brittle fracture and a new fast hybrid formulation. – Computational Mechanics, **55**(2): 383–405.

- [2] WU, T., A. CARPIUC, M. PONCELET & L. DE LORENZIS (2017): Phase-field simulation of interactive mixed-mode fracture tests on cement mortar with full-field displacement boundary conditions. – *Engineering Fracture Mechanics* **182**: 658–688.
- [3] ALESSI, R., S. VIDOLI & L. DE LORENZIS (2018). A phenomenological approach to fatigue with a variational phase-field model: the one-dimensional case. – *Engineering Fracture Mechanics* **190**: 53–73.
- [4] CARRARA, P., M. AMBATI, R. ALESSI & L. DE LORENZIS (2018): A novel framework to model the fatigue behavior of brittle materials based on a variational phase-field approach.
- [5] CARRARA, P., R. KRUSE, D.P. BENTZ, M. LUNARDELLI, T. LEUSMANN, P.A. VARADY & L. DE LORENZIS (2018): Improved mesoscale segmentation of concrete using contrast enhancers. – *Cement and Concrete Composites* **93**: 30–42.